

# СТРУКТУРНЫЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МЕТАСТАБИЛЬНОЙ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ, ПОДВЕРГНУТОЙ ФРИКЦИОННОМУ УПРОЧНЕНИЮ

*Минеева О.Н., Ахматханов И.А.*

*Руководитель – проф., д.т.н. Бараз В.Р.*

УрФУ, г. Екатеринбург

olgm@list.ru

Поверхностная обработка трением может представлять очевидный интерес для изделий малого поперечного сечения (типа пружинной ленты). В этом случае формирующийся тонкий упрочненный слой оказывается соизмеримым с толщиной самой заготовки и поэтому вклад фрикционного деформирования может оказаться весьма заметным как на изменении структуры поверхностного слоя, так и на формировании механических свойств.

Материалом исследования служила сталь ЗИ126 (12Х17Н8Г2С2МФ), относящаяся к классу аустенитных сплавов с нестабильной  $\gamma$ -фазой.

Предварительная обработка стали включала традиционную схему термомеханического упрочнения: а) закалка на пересыщенный  $\gamma$ -твердый раствор (от 1070 °С) проволоочной заготовки диаметром 2,16 мм, б) холодная пластическая деформация по комбинированному режиму, включающему волочение проволоки до размера 1,67 мм (обжатие 40 %) и последующее плющение в ленту сечением 0,42×3,55 мм и в) заключительное деформационное старение (при 470 °С, 1 ч). В эту схему включалась (перед старением) дополнительная обработка плющенной ленты трением.

Фрикционное нагружение осуществлялось на испытательной машине с твердосплавным индентором путем последовательного сканирования им рабочей поверхности ленточных образцов, полученных плющением предварительно холоднотянутых проволоочных заготовок.

Был исследован фазовый состав данной стали в зависимости от условий обработки. Установлено, что в закаленном состоянии фиксируется однофазное аустенитное состояние. Холодная деформации (волочение и последующее плющение) приводит к интенсивному развитию полиморфного  $\gamma \rightarrow \alpha$  превращения и получению заметного количества мартенсита. При этом дополнительная обработка трением увеличивает количество мартенсита деформации почти в 1,5 раза и его общая доля может превышать 30 %.

На рис.1 показана микроструктура деформированной аустенитной стали без трения и с указанной обработкой. При этом в результате фрикционного нагружения глубина наклепанного слоя достигает 10 мкм.

Фиксируется достаточно типичная структура деформированной аустенитной матрицы – развитая фрагментированность, высокая плотность

дислокаций, наличие деформационных двойников (рис. 1а). Более примечательным представляется характер структуры после фрикционной обработки (рис. 1в) – регистрируется менее выраженная кристаллографическая направленность. Обращает внимание особенность дифракционной картины – вместо типичных размытых дебаевских колец (рис. 1б) наблюдаются многочисленные уколы (рис. 1г). Их наличие может быть расценено как признак формирования структуры нанокристаллического масштаба.

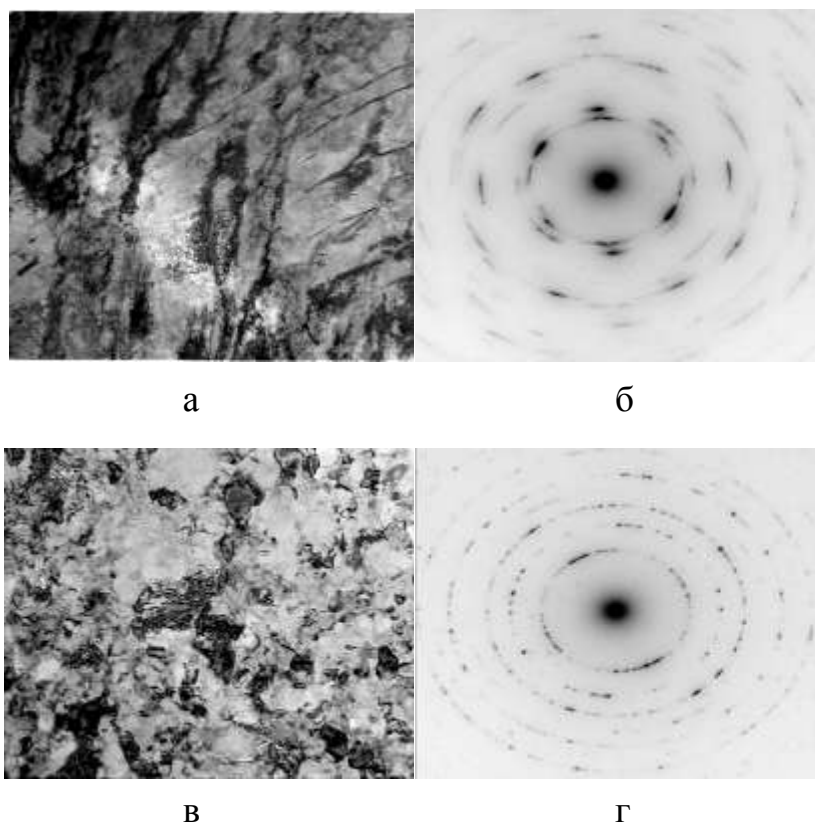


Рисунок 1. Электронно-микроскопическая структура аустенитной стали 3И126 после деформационного упрочнения (а, б) и дополнительной обработки трением (в, г): а, в – светлопольное изображение; б, г – микродифрактограмма

Такой результат может быть обусловлен формированием сложной схемы напряженного состояния, инициированного фрикционным нагружением. Известно, что в условиях трения скольжения при высоком давлении помимо сдвиговой деформации, осуществляемой скольжением и двойникованием, может развиваться также ротационная (поворотная) деформация. Считается, что это приводит к очень сильной пластической деформации, сопровождающейся не только аномальным высоким фрагментированием зерен, но и их кристаллографическим разворотом.

В рамках данного исследования были проведены эксперименты по изучению выносливости ленточных образцов стали 3И-126. Установлено, что применение обработки трением во всех рассмотренных случаях дает

однозначный результат – наблюдается эффективный поверхностный деформационный наклеп, благоприятно влияющий на сопротивление усталостному разрушению (рис.2). Как результат – число циклов до разрушения возрастает в 2...3 раза.

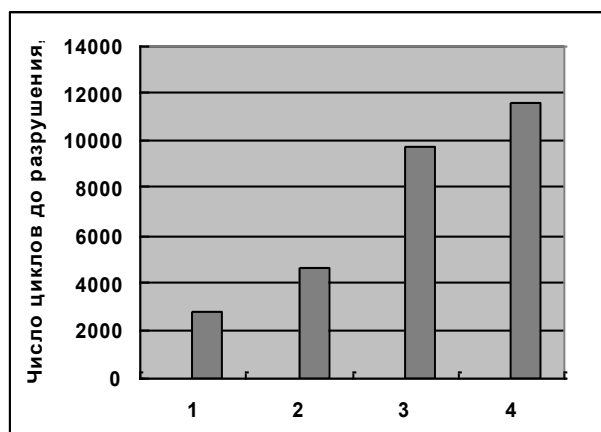


Рисунок 2. Результаты усталостных испытаний ленточных образцов стали ЗИ-126 после различных режимов обработки:

1 – закалка + дефор. 40 %; закалка + дефор. 40 % + старение 470 ° С, 1 ч;

2 – закалка + дефор. 40 % + трение;

3 – закалка + дефор. 40 % + трение + старение 470 ° С, 1 ч

Показано также, что деформация трением повышает сопротивление релаксации напряжений. Считается, что это связано с активным насыщением размноженных дислокаций атомами внедрения (углерода) и образованием сегрегаций. Кроме того, интенсивная пластическая деформация в условиях трения способствует сильной фрагментации матричного твердого раствора. Подобное диспергирование микроструктуры в сочетании с блокированием дислокаций примесными атомами и рассматривается в качестве основного фактора, вызывающего подобные изменения релаксационных свойств.

Таким образом, поверхностная фрикционная обработка ленточных образцов хромоникелевой аустенитной стали с нестабильной  $\gamma$ -фазой активизирует процесс деформационного  $\gamma \rightarrow \alpha$  превращения, формируя структурное состояние, характеризуемое размерностью, близкой к нанокристаллическому масштабу. Подобная обработка трением закономерно вызывает деформационный наклеп поверхностных слоев, усиливая сопротивление усталостному разрушению и повышая релаксационную стойкость. Установлено также, что трение заметно ослабляет ту текстуру прокатки, которая формируется на предварительном этапе получения плющеной ленты. Можно полагать, что это объясняется сложным характером деформирования в условиях трения скольжения – деформация осуществляется не только традиционным сдвигом, но и ротационным механизмом.